肚倍蚜瘿内种群动态与虫瘿生长发育的关系

查玉平[1]，杨子祥[2]，陈京元[1,*]，蔡三山[1]

（1. 湖北省林业科学研究院，武汉 430075；2. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所，昆明 650224）

摘要：【目的】本研究拟对肚倍蚜 *Kaburagia rhusicola* 瘿内种群动态与虫瘿生长发育关系进行研究，为深入研究肚倍蚜的生物学特性奠定基础。【方法】在 2014 年 4 月 27 日至 7 月 16 日期间，在湖北竹山田间每间隔 10 d 随机选择长势基本一致的青麸杨，分别采集健康肚倍蚜虫瘿，每次采集样本 30 个。采用排水法测量虫瘿体积，之后将虫瘿解剖，取出瘿内蚜虫，置于培养皿内，采用四分法统计数量。对虫瘿体积增长与瘿内蚜虫种群变化进行了相关性分析。【结果】虫瘿体积增长与蚜虫种群数量增长之间呈极显著正相关（$r=0.960$，$P<0.01$）。虫瘿体积与蚜虫种群数量增长分别呈现 3 个峰，即 5 月 6 日至 5 月 16 日、5 月 26 日至 6 月 6 日和 6 月 26 日至 7 月 6 日。肚倍蚜瘿内密度变化的主要趋势是先降后升，中间有一个小的起伏。【结论】本研究表明虫瘿大小和瘿内蚜虫种群数量有关，虫瘿体积可用于评价干母的环境适合度。

关键词：肚倍蚜；虫瘿；种群数量；虫瘿体积；生长发育

中图分类号：Q966　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2016)07-0791-06

Relationship between population dynamics and gall development of the gall aphid *Kaburagia rhusicola* (Hemiptera: Aphididae)

ZHA Yu-Ping[1], YANG Zi-Xiang[2], CHEN Jing-Yuan[1,*], CAI San-Shan[1] (1. Hubei Academy of Forestry, Wuhan 430075, China; 2. Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China)

Abstract: 【Aim】The relationship between population dynamics and gall development of the gall aphid *Kaburagia rhusicola* was investigated in order to provide a basis for further studying its biological characteristics. 【Methods】Thirty gall samples induced by the aphid *K. rhusicola* were collected from its host trees in the field in Zhushan, Hubei every 10 days during gall growth period, from April 27 to July 16, 2014. Gall volume was measured by the drainage method. Each gall was dissected, all aphids were put in a petri dish, and then the number of aphid individuals was counted by the quartering method. The correlation relationship between the growth of gall volume and the change of aphid clonal population inside the gall was analyzed. 【Results】There was a significantly positive correlation between the gall volume and the number of aphids ($r=0.960$, $P<0.01$). Both of the gall volume and the number of aphids had three peaks, which appeared on May 6 to May 16, May 26 to June 6, and June 26 to July 6, respectively. The aphid density in gall declined at the beginning and then rose, with a slight fluctuation in the intermediate stage. 【Conclusion】This study demonstrates that gall volume is positively correlated with the number of aphids inside the gall. Gall volume can be used as an indicator for fitness of the aphid stem mother to the external environment.

Key words: *Kaburagia rhusicola*; bellied gall; population dynamics; gall volume; growth and development

基金项目：林业公益性行业专项项目(201204602)；国家高技术研究计划("863"计划)项目(2014AA021802)；国家自然科学基金项目(U1402263, 31370651, 31372266)

作者简介：查玉平，男，1976 年 9 月生，江西婺源人，博士，副研究员，主要研究方向为森林昆虫及生物防治，E-mail: zhayuping@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: jingyuanchen@hotmail.com

收稿日期 Received: 2016-02-14；接受日期 Accepted: 2016-06-19

肚倍蚜 *Kaburagia rhusicola* Takagi 属蚜科(Aphididae)铁倍蚜属 *Kaburagia*，寄生在漆树科盐肤木属青麸杨 *Rhus potaninii* 复叶上形成的虫瘿即肚倍(向和, 1980)。肚倍是目前已知 14 种五倍子中虫瘿个体最大、单宁含量最高的倍子，主产于秦岭以南、大巴山区的低山丘陵地区(杨子祥, 2011)。五倍子是提取单宁酸、没食子酸和焦性没食子酸系列产品的原料，广泛应用于医药、化工、轻工、纺织、石油、航空、国防等领域。

肚倍蚜生活史非常复杂，经历干母、无翅干雌、有翅干雌、无翅侨蚜、有翅性母和雌、雄性蚜等虫型，在夏寄主青麸杨和冬寄主美灰藓 *Eurohypnum leptothallum* 上交替寄生(雷朝亮, 2011)。4 月初，肚倍蚜干母开始出现，沿树干爬到嫩叶上取食致瘿。7～10 d 后，形成封闭的虫瘿，干母进入虫瘿内，以孤雌生殖方式产生干雌，干母和后续的 3 代干雌在瘿内生活。直到 7 月中下旬，虫瘿成熟并自然爆裂，第 3 代有翅干雌迁飞到附近的美灰藓上，产无翅若蚜，若蚜在藓枝上取食，形成蜡球，并在蜡球内越冬。第 2 年 2 月下旬或 3 月上旬形成有翅性母，迁飞到寄主树上，在树干上产生雌雄性蚜，交配后的雌性蚜产生干母，开始下一个新的生活史循环(赖永祺等, 1992)。

致瘿昆虫与寄主植物相互作用形成虫瘿，而且致瘿昆虫控制了虫瘿的形成过程，其取食、产卵时产生的机械刺激及各种分泌物都会导致虫瘿的产生，但形成机制尚不清楚(邵淑霞等, 2012)。肚倍蚜是通过在青麸杨叶片上取食形成的虫瘿，并有 4 代蚜虫在虫瘿中生活。虫瘿是致瘿昆虫的营养库，昆虫通过它从寄主处获取营养(Morris *et al*., 2002)。一般来说，虫瘿越大，瘿内蚜虫数量越多(Lewis and Walton, 1958)。然而，也有研究者认为，虫瘿的大小在虫瘿形成初期就已经决定，与瘿内种群的数量无关(Gibernau *et al*., 2002)。关于倍蚜瘿内种群动态的研究仅有角倍蚜 *Schlechtendalia chinensis* 的报道(漆云庆等, 1990; Shao *et al*., 2013)，对肚倍蚜瘿内种群动态及其与虫瘿体积的关系尚不清楚。本研究详细分析了肚倍蚜的种群动态以及虫瘿生长发育的关系和变化过程，研究结果有助于进一步揭示倍蚜与寄主间的互作关系，为倍蚜的高效培育提供依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集

在 2014 年 4 月 27 日至 7 月 16 日期间，每间隔 10 d 从湖北省竹山县塘湾村的肚倍林内，随机选择长势基本一致的青麸杨，并按东南西北 4 个方位，分别采集健康肚倍蚜虫瘿，每次采集样本 30 个。

1.2 虫瘿体积的测定

采用排水法测量(Wool and Ben-Zvi, 1998)。其中 4 月 27 日和 5 月 6 日的虫瘿体积太小，以 5 个一组进行测量，取平均值。

1.3 蚜虫数量的统计

将虫瘿解剖后，取出瘿内蚜虫，置于培养皿内，统计数量。当蚜虫数量较多时，采用四分法统计(Shao *et al*., 2013)。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 数据处理软件的多项式回归分析，根据虫瘿体积、瘿内蚜虫数量、瘿内蚜虫密度及时间点等数据，绘制虫瘿体积增长曲线、瘿内蚜虫数量增长曲线及瘿内蚜虫密度变化曲线，模拟函数曲线方程。采用 SPSS 2.0 数据处理软件的相关性分析，根据对应时间点的虫瘿体积和瘿内蚜虫数量等数据，分析虫瘿体积与瘿内蚜虫数量间的相关性。

2 结果与分析

2.1 倍子体积与蚜虫种群数量变化

SPSS 软件分析结果表明，虫瘿体积增长与瘿内蚜虫数量增长之间呈极显著的正相关($r=0.960$, $P<0.01$)。图 1 和图 2 也显示，4 月 27 日至 7 月 16 日，虫瘿体积增长与蚜虫种群数量增长曲线基本一致，随着瘿内蚜虫数量的增加，虫瘿体积也相应增加。在倍子生长的早期(4 月 27 日至 5 月 6 日)，虫瘿体积和蚜虫数量分别呈缓慢增长。在 5 月 6 日至 6 月 26 日，虫瘿体积与蚜虫种群数量都快速增加。在倍子接近成熟期时(6 月 26 日至 7 月 6 日)，虫瘿体积和蚜虫数量增长更快，其中蚜虫数量增加了 5 倍以上，而虫瘿体积增加了约 3 倍。倍子成熟期(7 月6 日至 7 月 16 日)，虫瘿体积增长缓慢，但蚜虫种群数量增长了 1 倍多。

通过 Excel 软件分析：虫瘿体积增长的回归方程为：$Y_a=0.089x^3-0.527x^2+1.206x-0.881$ ($R^2=0.979$)；其中 Y_a 为虫瘿体积，x 为虫瘿生长时间点(以 4 月 27 日为 1 作为起点)。蚜虫种群数量增长的回归方程为：$Y_b=84.48x^3-918.6x^2+2910x-2388$ ($R^2=0.984$)。其中 Y_b 为蚜虫种群数量，x 为虫瘿生长时间点(以 4 月 27 日为 1 作为起点)。

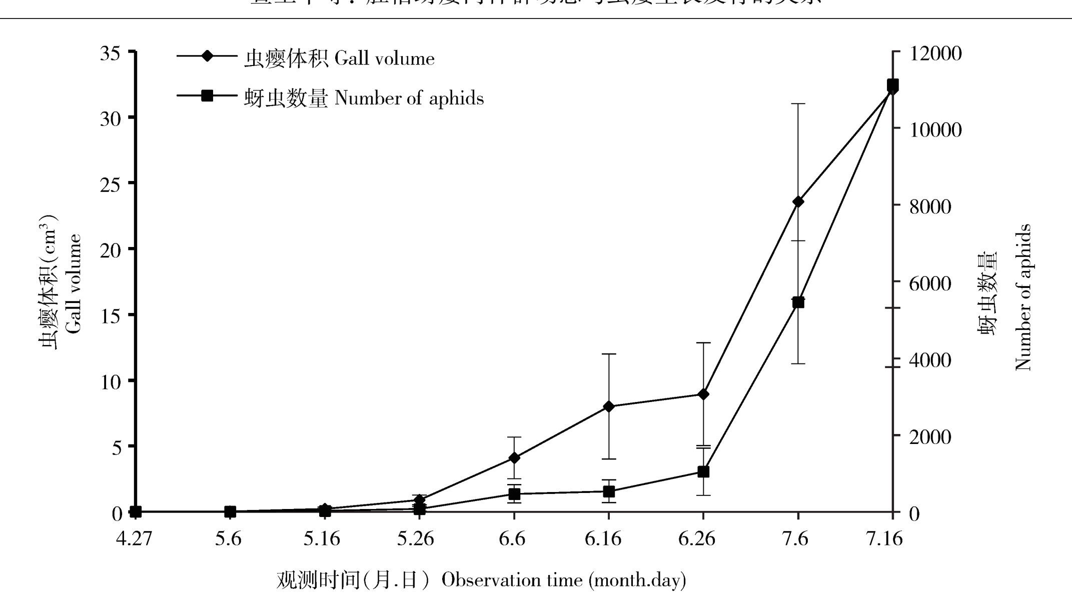


图 1　虫瘿体积与瘿内肚倍蚜蚜虫数量的变化图

Fig. 1　Changes in the gall volume and the number of aphids of *Kaburagia rhusicola* inside the gall

虫瘿体积采用排水法测量，蚜虫数量采用四分法统计。The gall volume was measured by the drainage method and then weighed, and the number of aphid individuals was counted by the quartering method.

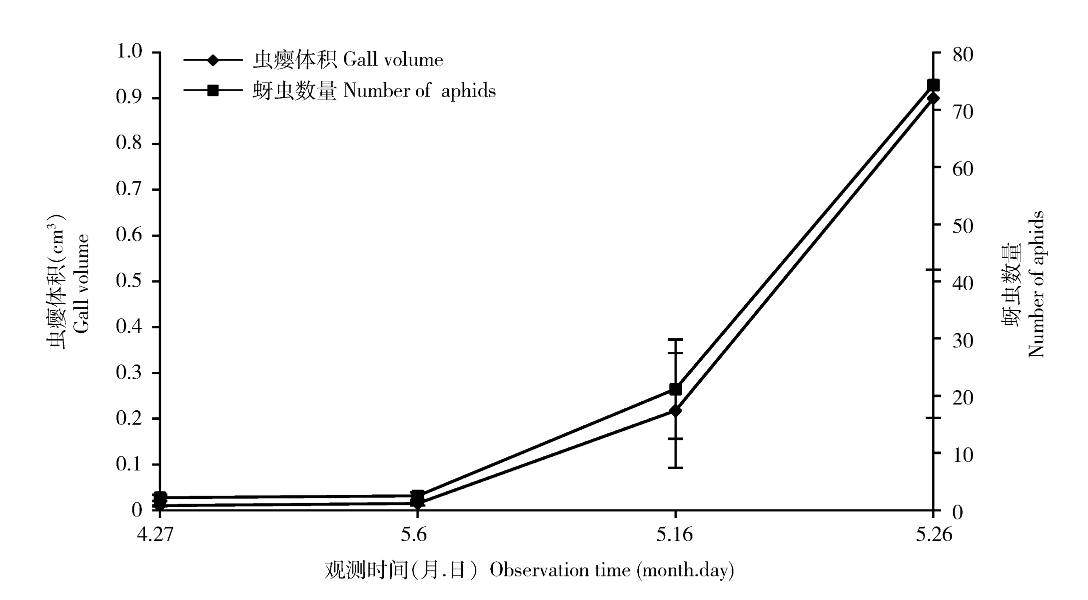


图 2　早期虫瘿体积与瘿内肚倍蚜蚜虫数量变化图

Fig. 2　Changes in the gall volume and the number of aphids of *Kaburagia rhusicola* inside the gall in the early stage

虫瘿体积采用排水法测量，蚜虫数量采用四分法统计。The gall volume was measured by the drainage method and then weighed, and the number of aphid individuals was counted by the quartering method.

2.2　虫瘿体积与蚜虫种群增长速率分析

SPSS 软件分析结果，虫瘿体积增长速率与蚜虫种群数量增长速率之间呈极显著正相关（$r = 0.842$，$P < 0.01$）。由图 3 也可以看出，虫瘿体积增长速率与蚜虫种群数量增长速率基本一致。虫瘿体积增长速率与蚜虫种群数量增长速率分别出现为 3 个峰，分别位于 5 月 6 日至 5 月 16 日、5 月 26 日至 6 月 6 日和 6 月 26 日至 7 月 6 日。这 3 个峰分别代表着蚜虫在瘿内繁殖的 3 个世代。

2.3　瘿内蚜虫密度变化

瘿内蚜虫密度变化曲线具有 3 个峰（图 4），分别位于 4 月 27 日（220 ± 34.3 头/cm^3）、6 月 6 日（114 ± 32.6 头/cm^3）和 7 月 16 日（347 ± 109.1 头/cm^3）。瘿内蚜虫密度在 4 月 27 日达到峰值后，到 5 月26 日均呈下降趋势，直到 6 月 6 日才有回升，并于 6 月 16 日倍内蚜虫密度达到最低点（66 ± 16.5

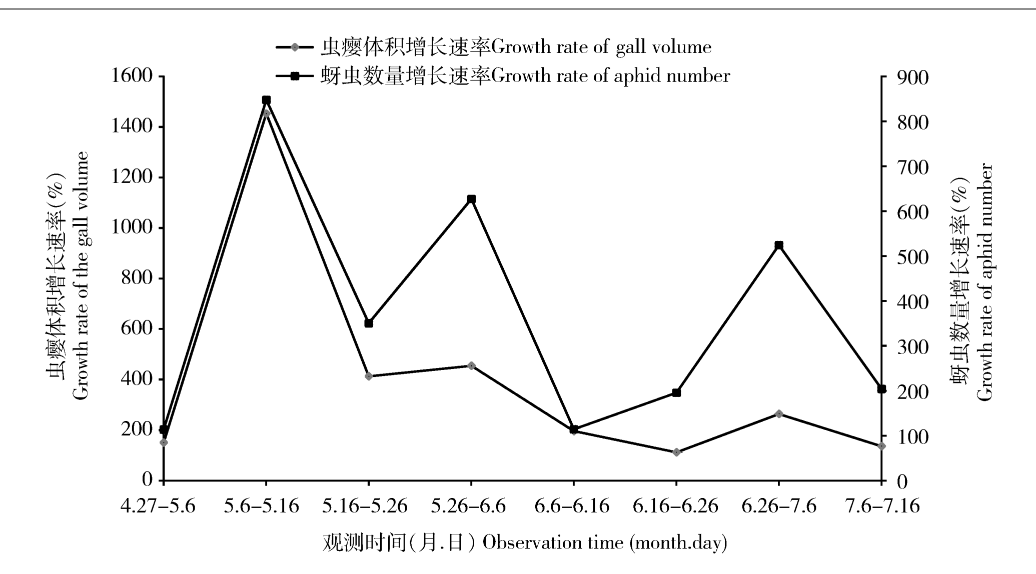


图 3　虫瘿体积与瘿内肚倍蚜蚜虫种群增长速率变化图

Fig. 3　Changes in the growth rate of gall volume and the growth rate of aphid clonal population of *Kaburagia rhusicola* inside the gall

虫瘿体积增长速率计算是后一个时间点的虫瘿体积比上前一个时间点的虫瘿体积,如 5 月 6 日的虫瘿体积与 4 月 27 日的虫瘿体积的比值,其他依次类推。蚜虫数量增长速率计算是后一个时间点的虫数比上前一个时间点的虫数,如 5 月 6 日的虫数与 4 月 27 日的虫数的比值,其他依次类推。The gall growth rate is the ratio of the gall volume at the latter test time to gall volume at the former test time, for example, the gall volume on May 6 divided by the gall volume on April 27, and so on. The growth rate of aphid individuals is the ratio of number of aphid individuals at the latter test time to the number of aphid individuals at the former test time, for example, the number of aphid individuals on May 6 divided by the number of aphids on April 27, and so on.

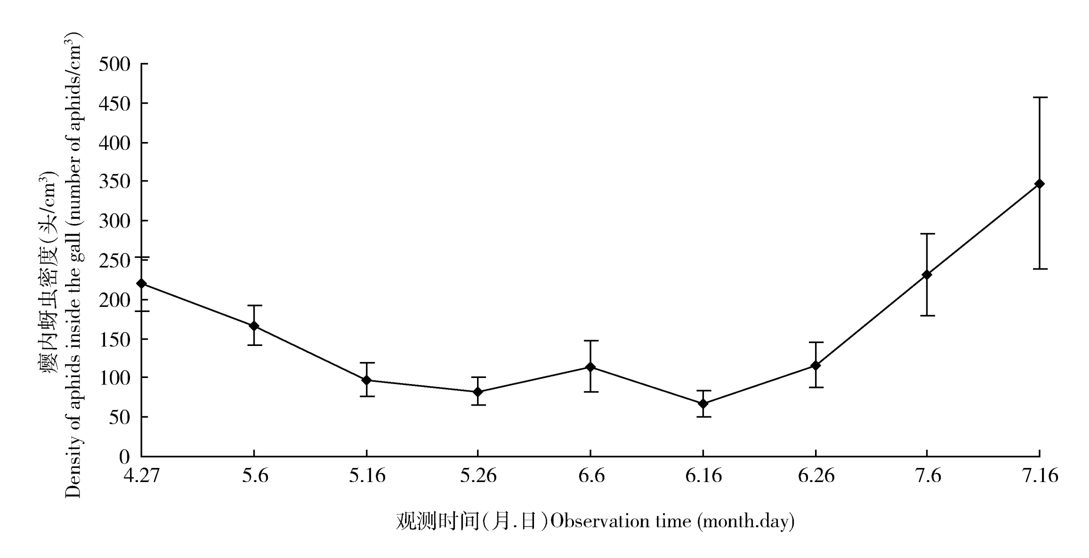


图 4　瘿内肚倍蚜蚜虫密度变化图

Fig. 4　Changes in population density of *Kaburagia rhusicola* inside the gall

头/cm^3)。之后蚜虫密度一直上升,到 7 月 6 日达到 231 ±52.3 头/cm^3 的峰值,此时有 73.33% 的虫瘿内出现了有翅干雌。7 月 16 日,所有虫瘿内都出现了有翅干雌,并且有 30% 的虫瘿内全部为有翅干雌。通过 Excel 软件分析,瘿内蚜虫密度变化回归方程为:$Y_c = 1.029x^3 - 2.296x^2 - 54.3x + 272.8$ ($R^2 = 0.955$)。其中 Y_c 为瘿内蚜虫密度,x 为虫瘿生长时间点(以 4 月 27 日为 1 作为起点)。

3　讨论

目前,关于虫瘿生长发育与瘿内蚜虫种群数量之间的关系存在两种观点:一种是 Wool(1986)为代表的,认为虫瘿的生长发育是在致瘿初期就已被决定;另一种观点是 David 和 Ofra(1998)提出的,虫瘿大小和瘿内蚜虫种群数量有关。本研究结果显示,

从干母开始在青麸杨叶片形成虫瘿到 4 月下旬，虫瘿内通常只有 1 头蚜虫，即干母。这期间虫瘿体积增长速度缓慢，肉眼无法观察到变化。到 4 月 27 日，已有 53.3% 的虫瘿内的干母产下 1 ~6 头干雌，瘿内蚜虫的平均数量增加到 2.2 头。5 月 6 日，则有 66.67% 的虫瘿内的干母产下 1 ~6 头干雌，瘿内蚜虫的平均数量增加到 2.5 头，虫瘿体积也仅仅由 0.01 cm^3 增长到 0.015 cm^3。5 月 16 日，瘿内干母已死亡，瘿内蚜虫为第 1 代干雌。此时，虫瘿体积和蚜虫数量都迎来第一个增长高峰。6 月 6 日，瘿内蚜虫以第 2 代干雌为主，迎来第 2 个增长高峰。7 月 6 日是虫瘿体积和蚜虫数量的第 3 个增长高峰，其中 73.33% 的虫瘿内出现有翅干雌。在本研究中，虫瘿体积增长与蚜虫种群数量增长之间呈极显著正相关（$r = 0.960$，$P < 0.01$），支持了 Wool 和 Ben-Zvi（1998）的观点。

干母对环境的适合度主要表现在其繁衍第 3 代有翅干雌的数量，因此，很多学者采用倍子爆裂时的有翅干雌数量来评价干母的适合度（Ozaki，1998；Rehill and Schultz，2002），但是也有不少学者提出异议。Ngakan 和 Yukawa（1996，1997）及 Rehill 和 Schultz（2001）等提出用虫瘿体积或者其他尺寸（如长、宽、高等）来衡量干母的适合度。近年来，邵淑霞等（2013）也提出用虫瘿体积评价干母适合度的观点。此外，还有学者认为虫瘿内表面积可以作为评价指标（Tosaka and Nishida，2007）。本研究结果显示，虫瘿体积与瘿内蚜虫数量的相关系数达到了 0.960，支持了虫瘿体积评价干母的环境适合度的观点。

肚倍蚜瘿内密度变化的主要趋势是先降后升，中间有一个小的起伏。与倍蚜瘿内密度在致瘿到出现有翅干雌的数量变化过程相似（Shao *et al.*，2013），两者都有 3 个峰值。7 月 6 日，蚜虫密度达到 231 ± 52.3 头/cm^3 的峰值，有 73.33% 的虫瘿内出现了有翅干雌。当 7 月 16 日，蚜虫密度达到 347 ± 109.1 头/cm^3 时，所有虫瘿内都出现了有翅干雌。这一现象可以用 Malthusian 理论（Wool and Ben-Zvi，1998）较好地解释，就是当达到临界密度时，虫瘿内的蚜虫转变成有翅蚜迁飞到第 2 寄主上。

致谢　中国林业科学研究院资源昆虫所陈晓鸣研究员帮助讨论数据并提出了有益的建议，特此致谢！

参考文献（References）

Gibernau M，Albre J，Dejean A，Barabé D，2002. Seed predation in *Philodendron solimoesense* （Araceae） by chalcid wasps （Hymenoptera）. *Int. J. Plant Sci.*，163（6）：1017 – 1023.

Lai YQ，Zhang YP，Li ZH，Fang Y，Chen BS，1992. Biological studies on the Du-ensiform gall aphid，*Kaburagia rhusicola* Ⅰ. Life history. *Forest Research*，5（5）：554 – 558.［赖永祺，张燕平，李正红，方英，陈宝珊，1992. 肚倍蚜生物学研究Ⅰ. 生活史. 林业科学研究，5（5）：554 – 558］

Lei CL，2011. Insect Resource Sciences. Hubei Science and Technology Press，Wuhan. 180 – 181.［雷朝亮，2011. 昆虫资源学. 武汉：湖北科学技术出版社. 180 – 181］

Lewis IF，Walton L，1958. Gall-formation on *Hamamelis virginiana* resulting from material injected by the aphid *Hormaphis hamamelidis*. *Trans. Am. Microsc. Soc.*，77（2）：146 – 200.

Morris DC，Schwarz MP，Cooper SJB，Mound L，2002. Phylogenetics of Australian *Acacia* thrips：the evolution of behaviour and ecology. *Mol. Phylogenet. Evol.*，25（2）：2780 – 2792.

Ngakan PO，Yukawa J，1996. Gall site preference and intraspecific competition of *Neothoracaphis yanonis* （Homoptera：Aphididae）. *Appl. Entomol. Zool.*，31（2）：299 – 310.

Ngakan PO，Yukawa J，1997. Synchronization with host plant phenology and gall site preference of *Dinipponaphis autumna* （Homoptera：Aphididae）. *Appl. Entomol. Zool.*，32（1）：81 – 90.

Ozaki K，1998. Inter-specific difference in budburst time and its consequences on egg hatch time and survival of the gall-making adelgid *Adelges japonicas*（Monzen）（Hom.，Adelgidae）. *J. Appl. Entomol.*，122：483 – 486.

Qi YQ，Qiu JS，Yang GY，Zhang ZC，1990. Study of gall aphid population dynamics. *Guizhou Forestry Science and Technology*，18（4）：14 – 24.［漆云庆，邱建生，杨光勇，张著春，1990. 角倍蚜种群动态的研究. 贵州林业科技，18（4）：14 – 24］

Rehill BJ，Schultz JC，2001. *Hormaphis hamamelidis* and gall size：a test of the plant vigor hypothesis. *Oikos*，95：94 – 104.

Rehill BJ，Schultz JC，2002. Opposing survivorship and fecundity effects of host phenology on the gall-forming aphid *Hormaphis hamamelidis*. *Ecol. Entomol.*，27：475 – 483.

Shao SX，Ruan ZY，Yang ZX，Chen XM，2012. Insect galls：the peculiar product of the interaction between plants and insects. *Journal of Environmental Entomology*，34（3）：363 – 369.［邵淑霞，阮桢媛，杨子祥，陈晓鸣，2012. 虫瘿——昆虫与植物互作的奇特产物. 环境昆虫学报，34（3）：363 – 369］

Shao SX，Yang ZX，Chen XM，2013. Gall development and clone dynamics of the galling aphid *Schlechtendalia chinensis*（Hemiptera：Pemphigidae）. *J. Econ. Entomol.*，106（4）：1628 – 1637.

Tosaka Y，Nishida T，2007. Gall surface area is a simple and accurate measure of fitness in Nipponaphidini galling aphids（Homoptera：Aphididae）. *App. Entomol. Zool.*，42（2）：217 – 221.

Wool D, Ben-Zvi O, 1998. Population ecology and clone dynamics of the galling aphid *Geoica wertheimae* (Sternorrhyncha: Pemphigidae: Fordinae). *Eur. J. Entomol.*, 95: 509 - 518.

Wool D, Manheim O, 1986. Population ecology of the gall-forming aphid, *Aploneura lentisci* (Pass.) in Israel. *Res. Popul. Ecol.*, 28: 151 - 162.

Xiang H, 1980. Studies of Chinese gall-nut aphids on *Rhus potaninii* Maxim. *Entomotaxonomia*, 2(4): 303 - 311. [向和, 1980. 中国青肤杨肚倍蚜的研究. 昆虫分类学报, 2(4): 303 - 311]

Yang ZX, 2011. Technical Specification for the High-yielded Breeding of Chinese Gallnut. China Forestry Publishing House, Beijing. 3 - 5. [杨子祥, 2011. 五倍子高产培育技术. 北京: 中国林业出版社. 3 - 5]

(责任编辑: 赵利辉)